

Vorlesung

Systemnahe Programmierung in C

Grundlagen der systemnahen Programmierung in C

Sommer 2010

SPIC

Reproduktion jeder Art oder Vererbung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

A.2 Aufbau der Lehrveranstaltung

A.2 Aufbau der Lehrveranstaltung

1 Vorlesung

- Überblick über grundlegende Konzepte von systemnaher (= Betriebssystem-naher oder Hardware-naher) Programmierung
- Einführung in die Programmiersprache C
- C-Programmierung "auf der nackten Hardware" (am Beispiel AVR- μ C)
 - Abbildung Speicher \leftrightarrow Sprachkonstrukte
 - Interrupts
 - Nebenläufigkeit
- C-Programmierung "auf einem Betriebssystem" (am Beispiel Linux)
 - Gegensatz μ C-Umgebung - Betriebssystem
 - Betriebssystem als Ausführungsumgebung für Programme
 - Abstraktionen und Dienste eines Betriebssystems

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

A-Uebersicht.fm 2010-04-19 15.03

A.2

Reproduktion jeder Art oder Vererbung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

A Überblick über die Lehrveranstaltung

A.1 Thema: Systemnahe Programmierung in C

- Grundlagen (GSPiC und SPiC)
 - Grundzüge von Systemarchitekturen
 - Einführung in die Programmiersprache C
 - Mikrocontroller-Überblick, AVR-Architektur
 - Programmiersprache C: Zeiger, Felder, Strukturen
 - Interruptverarbeitung und Nebenläufigkeit in Programmen
 - Betriebssystemunterstützung zur Programmausführung
 - Speichermodelle: virtuelle Adressräume / physikalischer Speicher
- Vertiefung (nur SPiC)
 - Programmiersprache C: weitere Vertiefung
 - Systemschnittstelle UNIX/Linux: Dateisystem und Prozesse

SPIC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

A-Uebersicht.fm 2010-04-19 15.03

A.1

Reproduktion jeder Art oder Vererbung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Übungen

A.2 Aufbau der Lehrveranstaltung

- Praktische Umsetzung des Vorlesungsstoffs anhand von einigen kleinen Programmieraufgaben
- Tafelübungen:
 - Hinweise zur Durchführung der Übungsaufgaben
 - erste Anleitung
 - Besprechung von Lösungen
 - Betreuung bei der Bearbeitung der Programmieraufgaben am Rechner
- Rechnerübungen:
 - selbstständige Programmierung
 - auf einer kleinen Mikrocontroller-Plattform
 - unter Linux
 - Umgang mit Entwicklungswerkzeugen und Betriebssystemen zur Programmentwicklung
 - Editor, Compiler, AVR-Studio, Windows, Linux
 - Hilfestellung bei Problemen durch Übungsbetreuer

SPIC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

A-Uebersicht.fm 2010-04-19 15.03

A.3

Reproduktion jeder Art oder Vererbung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

SPIC

B Organisatorisches

B Organisatorisches

- Zwei Varianten
- **GSPiC** Grundlagen der systemnahen Programmierung in C
 - ◆ Vorlesung + Übung
 - ◆ 2 SWS / 2,5 ECTS
 - ◆ Studienfächer: EEI
- **SPiC** Systemnahe Programmierung in C
 - ◆ Vorlesung + Übung
 - ◆ 4 SWS / 5 ECTS
 - ◆ Studienfächer: **Mechatronik**, Mathematik, Technomathematik
 - Mathematik, Technomathematik:
Alternativ kann auch Systemprogrammierung (SysProg) belegt werden!
- Vorlesungen 1 und 2 gemeinsam

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

B-Org.fm 2010-04-19 17.03

B.1

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

B.1 Semesterüberblick GSPiC

B.1 Semesterüberblick GSPiC

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen / Kapitel
16	19.04.	20.04.	21.04.	22.04.	23.04.	Organisatorisches, Sprachüberblick, Datentypen, Operatoren A, B, C, D.1 – D.5
		VL 1	VL 2			
17	26.04.	27.04.	28.04.	29.04.	30.04.	Programmaufbau, Kontrollstrukturen D.6 – D.7
			VL 3	A1 (Blink)		
18	03.05.	04.05.	05.05.	06.05.	07.05.	Funktionen, Programmstruktur und Module D.8 – D.9
			VL 4	A2 (Snake)		
19	10.05.	11.05.	12.05.	13.05.	14.05.	Module, Übersetzen und Binden, Mikrocontroller-Programmierung D.9 – D.10, E
20	17.05.	18.05.	19.05.	20.05.	21.05.	Module, Übersetzen und Binden, Mikrocontroller-Programmierung D.9 – D.10, E
			VL 5			
21	24.05.	25.05.	26.05.	27.05.	28.05.	Pfingsten/Berg A3 (LED)
22	31.05.	01.06.	02.06.	03.06.	04.06.	Zeiger und Felder F.1 – F.11
			VL 6			

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

B-Org.fm 2010-04-19 17.03

B.2

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

B.1 Semesterüberblick GSPiC (Fortsetzung)

B.1 Semesterüberblick GSPiC

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen / Kapitel
23	07.06.	08.06.	09.06.	10.06.	11.06.	Verbund- und Aufzählungstypen F.12 – F.16
			VL 7	A4 (pLED)		
24	14.06.	15.06.	16.06.	17.06.	18.06.	Nebenläufigkeit, Betriebssysteme G
25	21.06.	22.06.	23.06.	24.06.	25.06.	Speicherorganisation, Stapelaufbau H
			VL 8	A5 (Ampel)		
26	28.06.	29.06.	30.06.	01.07.	02.07.	Dateisysteme I
			VL 9			
27	05.07.	06.07.	07.07.	08.07.	09.07.	Wiederholung
			VL 10	A6 (PrintDir)		
28	12.07.	13.07.	14.07.	15.07.	16.07.	Wiederholung
29	19.07.	20.07.	21.07.	22.07.	23.07.	

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

B-Org.fm 2010-04-19 17.03

B.3

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

B.2 Semesterüberblick SPiC

B.2 Semesterüberblick SPiC

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen / Kapitel
16	19.04.	20.04.	21.04.	22.04.	23.04.	Organisatorisches, Sprachüberblick, Datentypen, Operatoren A, B, C, D.1 – D.5
		VL1	VL2			
17	26.04.	27.04.	28.04.	29.04.	30.04.	Programmaufbau, Kontrollstrukturen D.6 – D.7
			VL3	A1 (Blink)		
18	03.05.	04.05.	05.05.	06.05.	07.05.	Funktionen, Programmstruktur und Module D.8 – D.9
			VL4	A2 (Snake)		
19	10.05.	11.05.	12.05.	13.05.	14.05.	Module, Übersetzen und Binden, Mikrocontroller-Programmierung D.9 – D.10, E
			VL5	A3 (LED)		
20	17.05.	18.05.	19.05.	20.05.	21.05.	Zeiger und Felder F.1 – F.11
			VL6			
21	24.05.	25.05.	26.05.	27.05.	28.05.	Pfingsten A4 (pLED)
22	31.05.	01.06.	02.06.	03.06.	04.06.	Verbund- und Aufzählungstypen F.12 – F.16
			VL7	A5 (Ampel)		

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

B-Org.fm 2010-04-19 17.03

B.4

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

B.2 Semesterüberblick SPiC (Fortsetzung)

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen / Kapitel
23	07.06.	08.06.	09.06.	10.06.	11.06.	Nebenläufigkeit, Betriebssysteme G
		VL8		A6(PrintDir)		
24	14.06.	15.06.	16.06.	17.06.	18.06.	Speicherorganisation, Stapelaufbau H
		VL9		A7 (fish)		
25	21.06.	22.06.	23.06.	24.06.	25.06.	Dateisysteme I
		VL10		A8 (tqsh)		
26	28.06.	29.06.	30.06.	01.07.	02.07.	Prozesse, Prozesszustände, Prozesswechsel, Prozesserschzeugung, Ausführen von Programmen J.1 – J.6
		VL11		A9 (find_max)		
27	05.07.	06.07.	07.07.	08.07.	09.07.	Signale J.7
28	12.07.	13.07.	14.07.	15.07.	16.07.	Threads, Koordinierung J.8 – J.9
		VL13		Wdh		
29	19.07.	20.07.	21.07.	22.07.	23.07.	pthreads, Threads in Java J.10 – J.11

B.4 Vorlesungsskript

- Vorlesungsfolien
 - ◆ im pdf-Format auf der Webseite
 - ◆ Gutscheinverkauf zum Bezug von Folienkopien, Schutzgebühr 1 EUR
 - Kopien werden jeweils vor der Vorlesung ausgegeben

B.5 Literatur

- Literatur
 - ◆ zu der Programmiersprache C
 - Peter A. Darnell, Philip E. Margolis:
C: A Software Engineering Approach, 3. Edition, Springer, 1996.
 - Karlheinz Zeiner:
Programmieren lernen mit C, 2. Auflage, Carl Hanser, 1996.
 - B. W. Kernighan, D. M. Ritchie:
Programmieren in C, 2. Auflage, Carl Hanser, 1990.

B.3 Vorlesungsbetrieb

- Dozenten
 - ◆ Jürgen Kleinöder (SPiC, GSPiC)
 - ◆ Daniel Lohmann (GSPiC, SPiC)
- SPiC-Webseite: www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS10/V_SPiC/
- GSPiC-Webseite: www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS10/V_GSPiC/

B.6 Übungen

- Beginn: Do. 29.04.2009 (Übungswoche jeweils Do. - Mi.)
- Tafelübungen (teilweise auch "am Rechner")
 - Erläuterung zur Benutzung der Rechnerumgebung
 - Anleitung zu den Aufgabenstellungen
 - Besprechung der Lösungen
- Rechnerübungen Raum 01.155 Informatik-Hochhaus
 - selbstständige Bearbeitung von Aufgaben
 - Übungsleiter stehen bei Fragen und Problemen zur Verfügung
- Verantwortlich
 - Moritz Strübe (SPiC, GSPiC), Wanja Hofer (GSPiC, SPiC)
 - Übungsbetreuer: Rainer Müller, Tobias Scharpff, Martin Klüpfel, Fabian Festerra, Franziska Bertelshofer, Christian Schlumberger, Sebastian Schinabeck

B.6 Übungen (2)

- **Übungsbetrieb für SPiC**
(Mechatronik-Bachelor, 2. Semester, Mathematik, Technomathematik)
 - ◆ 9 Gruppen zur Auswahl
 - Dauer einer Übung 90 Minuten
 - maximale Teilnehmerzahl 12 Personen
 - ◆ Termine **Tafelübung** (Änderungen vorbehalten):
 - Mo. 14-16, 16-18
 - Di. 12-14, 16-18
 - Mi. 10-12, 14-16
 - Do. 14-16, 16-18
 - Fr. 10-12
 - ◆ Termine **Rechnerübung**:
 - Mo. 12 - 14
 - Di. 14 - 16
 - Mi. 08 - 10, 14 - 16
 - Do. 10 - 12, 16 - 18

B.6 Übungen (4)

- **Anmeldung zu den Tafelübungen**
 - heute (Di, 20.4.) ab 16:00 (nach der Vorlesung)
 - über Web-Anmeldesystem "waffel"
 - Link auf der Übungs-Webseite
 - Bei der Anmeldung Auswahl des Tafelübungstermins

B.6 Übungen (3)

- **Übungsbetrieb für GSPiC**
(EEI-Bachelor, 2. Semester)
 - ◆ 8 Gruppen zur Auswahl
 - Dauer einer Übung 90 Minuten
 - maximale Teilnehmerzahl 12 Personen
 - ◆ Termine (Änderungen vorbehalten):
 - Mo. 10-12, 12-14
 - Di. 14-16, 16-18
 - Mi. 14-16
 - Do. 8-10, 12-14
 - Fr. 14-16
 - ◆ **Tafel- und Rechnerübung** im Wechsel

B.7 Programmieraufgaben

- Programmieraufgaben teilweise alleine, teilweise in 2er-Gruppen zu bearbeiten
- Lösungsaufgaben mit Abgabeskript am Rechner abgeben
- Lösung wird durch Skripte überprüft; zusätzlich korrigieren wir die Abgaben und geben sie zurück; außerdem geben wir Hinweise auf typische Fehler in der Vorlesung und den Tafelübungen.
- ★ abgegebene Aufgaben werden bepunktet durch die Punkte auf Übungsaufgaben können bis zu **10 % Bonuspunkte** bei der Prüfungsklausur erarbeitet werden
 - Voraussetzung: abgegebene Aufgaben müssen jederzeit in den Tafelübungen vorgestellt werden können (impliziert Anwesenheit!)

B.8 Prüfung

B.8 Prüfung

- Prüfung (Klausur)
 - Termin voraussichtlich Ende Juli/Anfang August
Dauer GSPiC: 60 min, SPiC: 90 min
 - Inhalt: Fragen zum Vorlesungsstoff + Programmieraufgabe

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

B-Orig.fm 2010-04-19 17.03

B.13

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

C.1 Softwareschichten

C.1 Softwareschichten

- Anwendungs-/Problemorientierte Darstellungen
 - ◆ Modelle
 - Matlab/Simulink
 - UML
 - ◆ Programmiersprachen / höhere Abstraktionsebenen
 - Software-Komponenten
 - Java, C#, C++, Tcl/TK
- Softwarewerkzeuge konvertieren / generieren
 - Matlab/Simulink → C
- Ausführungsumgebungen unterstützen / konvertieren / interpretieren
 - Enterprise Java Beans
 - JVM oder .NET
- ➔ Ziel: durch Prozessor ausführbarer Maschinencode

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

C-Systemarchitekturen.fm 2010-04-19 17.06

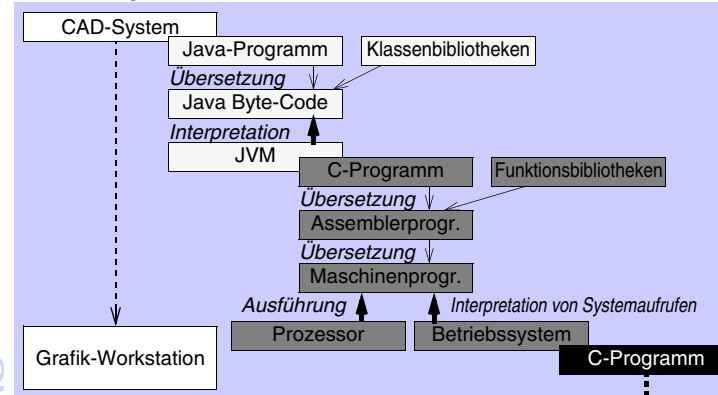
C.2

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

C Systemarchitekturen

C Systemarchitekturen

- Große Diskrepanz zwischen Anwendungsproblem und dem Ablauf der Lösung auf einer Hardware



SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

C-Systemarchitekturen.fm 2010-04-19 17.06

C.1

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

C.1 Softwareschichten (2)

C.1 Softwareschichten

- verschiedene Ausführungsmodelle für Maschinencode
 - ◆ vollständig durch den Prozessor ausführbar
 - alle Funktionen müssen vollständig durch die Werkzeuge in direkt ausführbaren Maschinencode umgewandelt worden sein
 - keinerlei weitere Unterstützung zur Laufzeit erforderlich
 - kann so in ROM oder EPROM gespeichert werden
 - z. B. Steuerung einer Waschmaschine
 - ◆ zusätzliche Unterstützung zur Ausführungszeit erforderlich
 - "darunter liegende" Softwareschicht realisiert Dienste: Betriebssystem
 - z. B. Daten in Datei speichern, Daten über Internet übertragen
 - Realisierung: partielle Interpretation
bestimmte Maschinencodes werden nicht direkt vom Prozessor ausgeführt sondern stoßen die Abarbeitung von Betriebssystemfunktionen an

SPiC

Systemnahe Programmierung in C
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2010

C-Systemarchitekturen.fm 2010-04-19 17.06

C.3

Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlagen, außer in Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

C.1 Softwareschichten (3)

C.1 Softwareschichten



SPIC

C.2 Was sind Betriebssysteme?

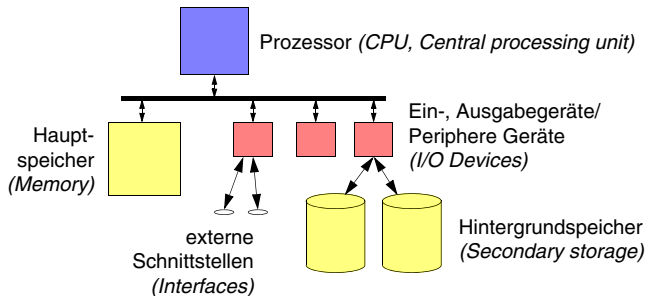
C.2 Was sind Betriebssysteme?

- DIN 44300
 - ◆ „...die Programme eines digitalen Rechensystems, die zusammen mit den Eigenschaften der Rechenanlage die **Basis der möglichen Betriebsarten** des digitalen Rechensystems bilden und die insbesondere die **Abwicklung von Programmen steuern und überwachen**.“
- Andy Tanenbaum
 - ◆ „...eine Software-Schicht ..., die alle Teile des Systems verwaltet und dem Benutzer eine Schnittstelle oder eine *virtuelle Maschine* anbietet, die einfacher zu verstehen und zu programmieren ist [als die nackte Hardware].“
- ★ Zusammenfassung:
 - ◆ Software zur Verwaltung und Virtualisierung der Hardwarekomponenten (Betriebsmittel)
 - ◆ Programm zur Steuerung und Überwachung anderer Programme

SPIC

1 Verwaltung von Betriebsmitteln

C.2 Was sind Betriebssysteme?



SPIC

1 Verwaltung von Betriebsmittel (2)

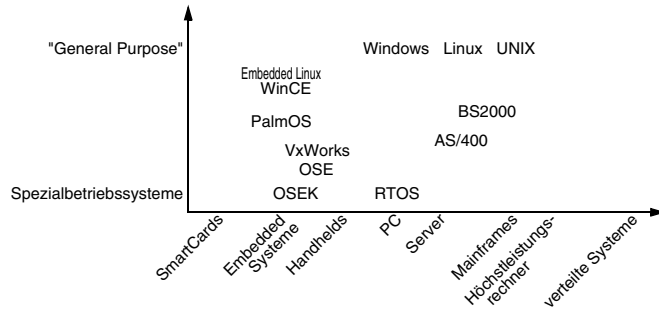
C.2 Was sind Betriebssysteme?

- Resultierende Aufgaben
 - ◆ Multiplexen von Betriebsmitteln für mehrere Benutzer bzw. Anwendungen
 - ◆ Schaffung von Schutzumgebungen
 - ◆ Bereitstellen von Abstraktionen zur besseren Handhabbarkeit der Betriebsmittel
- Ermöglichen einer koordinierten gemeinsamen Nutzung von Betriebsmitteln, klassifizierbar in
 - ◆ aktive, zeitlich aufteilbare (Prozessor)
 - ◆ passive, nur exklusiv nutzbare (periphere Geräte, z.B. Drucker u.Ä.)
 - ◆ passive, räumlich aufteilbare (Speicher, Plattenspeicher u.Ä.)
- Unterstützung bei der Fehlererholung

SPIC

2 Klassifikation von Betriebssystemen

- Unterschiedliche Klassifikationskriterien
 - Zielplattform
 - Einsatzzweck, Funktionalität



2 Klassifikation von Betriebssystemen (2)

- Wenigen "General Purpose"- und Mainframe/Höchstleistungsrechner-Betriebssystemen steht eine Vielzahl kleiner und kleinster Spezialbetriebssysteme gegenüber:

C51, C166, C251, CMX RTOS, C-Smart/Raven, eCos, eRTOS, Embos, Ercos, Euros Plus, Hi Ross, Hynet-OS, LynxOS, MicroX/OS-II, Nucleus, OS-9, OSE, OSEK Flex, OSEK Turbo, OSEK Plus, OSEKtime, Precise/MQX, Precise/RTCS, proOSEK, pSOS, PXRos, QNX, Realos, RTMOSxx, Real Time Architect, ThreadX, RTA, RTX51, RTX251, RTX166, RTXc, Softune, SSXS RTOS, VRTX, VxWorks, ...

- ➔ Einsatzbereich: Eingebettete Systeme, häufig Echtzeit-Betriebssysteme, über 50% proprietäre (in-house) Lösungen

- Alternative Klassifikation: nach Architektur

3 Betriebssystemarchitekturen

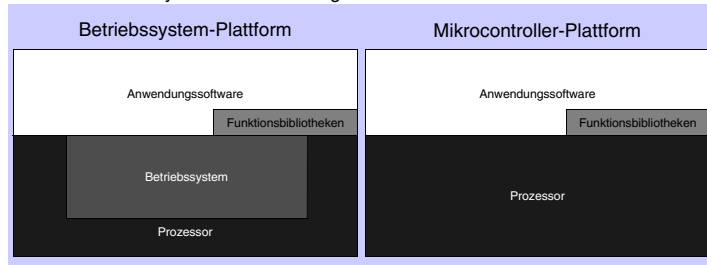
- Umfang zehntausende bis mehrere Millionen Befehlszeilen
 - ◆ Strukturierung hilfreich
- Verschiedene Strukturkonzepte
 - ◆ monolithische Systeme
 - ◆ geschichtete Systeme
 - ◆ Minimalkerne
 - ◆ Laufzeitbibliotheken (minimal, vor allem im Embedded-Bereich)
- Unterschiedliche Schutzkonzepte
 - kein Schutz
 - Schutz des Betriebssystems
 - Schutz von Betriebssystem und Anwendungen untereinander
 - feingranularer Schutz auch innerhalb von Anwendungen

4 Betriebssystemkomponenten

- Speicherverwaltung
 - ◆ Wer darf wann welche Information wohin im Speicher ablegen?
- Prozessverwaltung
 - ◆ Wann darf welche Aufgabe bearbeitet werden?
- Dateisystem
 - ◆ Speicherung und Schutz von Langzeitdaten
- Ein/Ausgabe
 - ◆ Kommunikation mit der "Außenwelt" (Benutzer/Rechner)

C.3 Mikrocontroller vs. Betriebssystem-Plattform

- Entscheidende Unterschiede:
 - ◆ Betriebssystem-Unterstützung entfällt



- ◆ Prozessor bietet in der Regel weniger / andere Funktionalität
 - kein virtueller Speicher
 - kein Speicherschutz
 - einfachere Peripherie-Ansteuerung

D.1 C vs. Java

1 C hat nicht

- Klassen und Vererbung
- Objekte
- umfangreiche Klassenbibliotheken

2 C hat

- Zeiger und Zeigerarithmetik
- Präprozessor
- Funktionsbibliotheken

D Einführung in die Programmiersprache C

D.1 C vs. Java

- Java: objektorientierte Sprache
 - zentrale Frage: aus welchen Dingen besteht das Problem
 - Gliederung der Problemlösung in Klassen und Objekte
 - Hierarchiebildung: Vererbung auf Klassen, Teil-Ganze-Beziehungen
 - Ablauf: Interaktion zwischen Objekten
- C: imperative / prozedurale Sprache
 - zentrale Frage: welche Aktivitäten sind zur Lösung des Problems auszuführen
 - Gliederung der Problemlösung in Funktionen
 - Hierarchiebildung: Untergliederung einer Funktion in Teilfunktionen
 - Ablauf: Ausführung von Funktionen

D.2 Sprachüberblick

1 Erstes Beispiel (C-Programm unter Linux)

- Die Datei `hello.c` enthält die folgenden Zeilen:

```
#include <stdio.h>
/* say "hello, world" */
int main()
{
    printf("hello, world\n"); return 0;
}
```

- Die Datei wird mit dem Kommando `cc` übersetzt:

```
% cc hello.c          (C-Compiler)
oder
% gcc hello.c         (GNU-C-Compiler)
```

es entsteht eine Datei `a.out`, die das ausführbare Programm enthält.

- ausführbares Programm liegt in Form von Maschinencode des Zielprozessors vor (kein Byte- oder Zwischencode)!

1 Erstes Beispiel (2)

D.2 Sprachüberblick

- Mit der Option `-o` kann der Name der Ausgabedatei auch geändert werden – z. B.

```
% cc -o hello hello.c
```

- Das Programm wird durch Aufruf der Ausgabedatei ausgeführt:

```
% ./hello
hello, world
%
```

- Kommandos werden so in einem Fenster mit UNIX/Linux-Kommandointerpreter (Shell) eingegeben
 - es gibt auch integrierte Entwicklungsumgebungen (z. B. Eclipse)

SPIC

2 Erstes Beispiel (C-Programm für AVR-Mikrocontroller) (2)

D.2 Sprachüberblick

- In der Datei `red.elf` liegt der ausführbare Programmcode für den Mikrocontroller vor
- dieser muss anschliessend auf den Mikrocontroller geladen werden
 - Mikrocontroller über USB-Schnittstelle an Entwicklungs-PC anschließen
 - Programm zum Übertragen des Codes (*Flashen*) starten

```
% make -f /proj/i4spic/pub/debug.mk red.elf.flash
```

- Weitere Details in den Übungen!

SPIC

2 Erstes Beispiel (C-Programm für AVR-Mikrocontroller)

D.2 Sprachüberblick

- Die Datei `red.c` enthält die folgenden Zeilen:

```
/* switch red led on */
#include <led.h>
void main()
{
    sb_led_on(RED0); while(1);
}
```

- Die Datei wird mit dem Kommando `avr-gcc` übersetzt:

```
% avr-gcc -o red.elf -ffreestanding -mmcu=atmega32 ... red.c
```

- im Gegensatz zur Übersetzung eines Programms für Linux muss hier
 - die Zielplattform angegeben werden (*Cross-Compilation*)
 - Angaben über Bibliotheken und include-Dateien angegeben werden (...)

- Vereinfachung über "Makefile"

- Details in der Übung

SPIC

3 Aufbau eines C-Programms

D.2 Sprachüberblick

- frei formulierbar - **Zwischenräume** (*Leerstellen, Tabulatoren, Newline und Kommentare*) werden i. a. ignoriert - sind aber zur eindeutigen Trennung direkt benachbarter Worte erforderlich
- **Kommentar** wird durch `/*` und `*/` geklammert
 - keine Schachtelung möglich
- **Identifier** (Variablenamen, Marken, Funktionsnamen, ...) sind aus Buchstaben, gefolgt von Ziffern oder Buchstaben aufgebaut
 - `"_"` gilt hierbei auch als Buchstabe
 - Schlüsselwörter wie `if`, `else`, `while`, usw. können nicht als *Identifier* verwendet werden
 - **Identifier** müssen vor ihrer ersten Verwendung **deklariert** werden
- Anweisungen werden generell durch `;` abgeschlossen

SPIC

4 Allgemeine Form eines C-Programms:

```

/* globale Variablen */
...

/* Hauptprogramm */
main(...)
{
    /* lokale Variablen */
    ...
    /* Anweisungen */
    ...
}

/* Unterprogramm 1 */
function1(...)
{
    /* lokale Variablen */
    ...
    /* Anweisungen */
    ...
}

/* Unterprogramm n */
functionN(...)
{
    /* lokale Variablen */
    ...
    /* Anweisungen */
    ...
}
    
```

SPIC

5 Wie ein C-Programm nicht aussehen sollte:

```

#define o define
#o o write
#o ooo (unsigned)
#o o_o 1
#o o_char
#o oo goto
#o oo_read
#o o_o for
#o o_main
#o o_if
#o oo 0
#o o(,_,_) (void) o(,_,ooo(_))
#o o(o_o << ((o_o << (o_o << o_o)) + (o_o << o_o)))
+ (o_o << (o_o << (o_o << o_o)))
o_() { o_o = oo_,,_,,_[o]; oo _____; _____: o_o = o_o_o_
_____
_____
o(o_o, _____, = (-o_o < ? -
o_o : _____); o_o(,; o(o_o, "\b", o_o), _____);
o(o_o, " ", o_o); o_o(____) oo
_____ ; o(o_o, "\n", o_o); _____: o_o (= oo_(
oo_, _____, o) oo _____; }
    
```

sieht eher wie Morse-Code aus, ist aber ein gültiges C-Programm.

SPIC

D.3 Datentypen

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Datentypen <ul style="list-style-type: none"> ➢ Konstanten ➢ Variablen | | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Ganze Zahlen ◆ Fließkommazahlen ◆ Zeichen ◆ Zeichenketten |
|---|--|--|

SPIC

1 Was ist ein Datentyp?

- Menge von Werten
 - +
 - Menge von Operationen auf den Werten
 - ◆ **Literale** Darstellung für einen konkreten Wert (2, 3.14, 'a')
 - ◆ **Variablen** Namen für Speicherplätze, die einen Wert aufnehmen können
 - ➔ Literale und Variablen besitzen einen **Typ**
- Datentypen legen fest:
 - ◆ Repräsentation der Werte im Rechner
 - ◆ Größe des Speicherplatzes für Variablen
 - ◆ erlaubte Operationen
- Festlegung des Datentyps
 - ◆ implizit durch Verwendung und Schreibweise (Zahlen, Zeichen)
 - ◆ explizit durch **Deklaration** (Variablen)

SPIC